

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

10/sic333  
Jan 4 05

(11)Publication number : 2003-198319  
(43)Date of publication of application : 11.07.2003

(51)Int.Cl.

H03H 9/17  
H01L 41/09

(21)Application number : 2001-394388

(71)Applicant : UBE ELECTRONICS LTD

(22)Date of filing : 26.12.2001

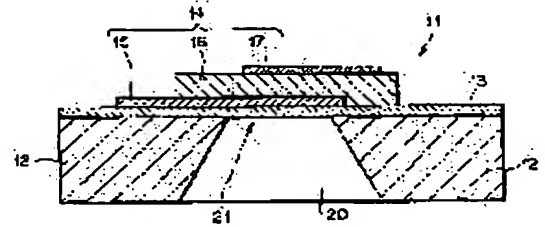
(72)Inventor : YAMADA TETSUO  
NAGAO KEIGO  
HASHIMOTO TOMONORI

(54) ALUMINUM NITRIDE THIN FILM-METALLIC ELECTRODE STACK, AND THIN FILM PIEZOELECTRIC RESONATOR USING IT

(57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a thin film piezoelectric resonator which is large in electric-mechanic coupling factor and is excellent in acoustic quality coefficient (Q value), band width, and frequency temperature property.

**SOLUTION:** This resonator is equipped with a piezoelectric stacked structure 14, where a lower electrode 15, a c-axis oriented AlN piezoelectric thin film 16, and an upper electrode 17 are stacked in this order via an insulator layer 13 in a position facing a via hole 20 of a substrate 12. The lower electrode 15 is composed of two or more metallic layers including the lamination layer of the first metallic layer having body-centered cubic structure such as molybdenum, tungsten, or the like, and a second metallic layer having face-centered cubic structure such as iridium, platinum, or gold. The thickness of the first metallic layer is half or over the thickness of the lower electrode 15. The rocking curve half value width (FWHM) of the (110) diffraction peak of the first metallic layer is less than  $4.5^\circ$ , and the rocking curve half value width (FWHM) of the (0002) diffraction peak of an AlN piezoelectric thin film 16 is less than  $3.3^\circ$ .



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 03.09.2004  
[Date of sending the examiner's decision of rejection]  
[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]  
[Date of final disposal for application]  
[Patent number]  
[Date of registration]  
[Number of appeal against examiner's decision of rejection]  
[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]  
[Date of extinction of right]

Copyright (C): 1998,2003 Japan Patent Office

REST AVAILABLE COPY

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-198319

(P2003-198319A)

(43) 公開日 平成15年7月11日 (2003.7.11)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テ-マ-ト* (参考)
H 0 3 H 9/17		H 0 3 H 9/17	F 5 J 1 0 8
H 0 1 L 41/09		H 0 1 L 41/08	M

審査請求 未請求 請求項の数20 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2001-394388 (P2001-394388)

(22) 出願日 平成13年12月26日 (2001. 12. 26)

(71) 出願人 397047279

宇部エレクトロニクス株式会社

山口県美祿市大嶺町奥分字麦川2023番地 2

(72) 発明者 山田 哲夫

山口県宇部市大字小串1978番地の 5 宇部  
興産株式会社宇部研究所内

(72) 発明者 長尾 圭吾

山口県宇部市大字小串1978番地の 5 宇部  
興産株式会社宇部研究所内

(74) 代理人 100065385

弁理士 山下 稔平

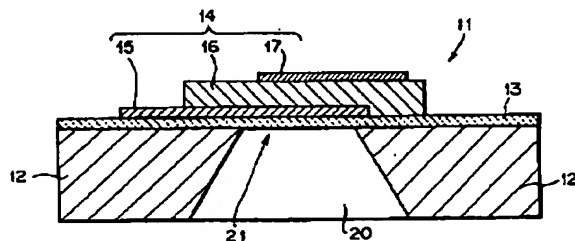
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 窒化アルミニウム薄膜-金属電極積層体およびそれを用いた薄膜圧電共振子

(57) 【要約】

【課題】 電気機械結合係数が大きく、音響的品质係数 (Q 値)、帯域幅、周波数温度特性に優れた薄膜圧電共振子を提供する。

【解決手段】 基板 12 のビアホール 20 に面する位置にて絶縁体層 13 を介して下部電極 15、c 軸配向 A l N 圧電体薄膜 16 および上部電極 17 がこの順に積層された圧電積層構造体 14 を備える。下部電極 15 はモリブデン及びタングステンなどの体心立方構造を有する第 1 の金属層とイリジウム、白金及び金などの面心立方構造を有する第 2 の金属層との積層を含む 2 以上の金属層から構成されており、第 1 の金属層の厚さが下部電極 15 の厚さの 0.5 倍以上である。第 1 の金属層の (110) 回折ピークのロッキング・カーブ半値幅 (FWHM) が 4.5° 未満であり、A l N 圧電体薄膜 16 の (0002) 回折ピークのロッキング・カーブ半値幅 (FWHM) が 3.3° 未満である。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 金属電極と該金属電極の上に少なくとも一部が形成されたc軸配向を示す窒化アルミニウム薄膜との積層体であって、前記金属電極が体心立方構造を有する第1の金属層と面心立方構造を有する第2の金属層との積層を含む2以上の金属層から構成されており、前記第1の金属層の厚さが前記金属電極の厚さの0.5倍以上であることを特徴とする窒化アルミニウム薄膜-金属電極積層体。

【請求項2】 前記第1の金属層は、モリブデン、タングステン、モリブデンを主成分とする合金、およびタングステンを主成分とする合金のうちから選ばれる金属で構成されていることを特徴とする、請求項1に記載の窒化アルミニウム薄膜-金属電極積層体。

【請求項3】 前記第2の金属層は、イリジウム、白金、金、アルミニウム、銀、イリジウムを主成分とする合金、白金を主成分とする合金、金を主成分とする合金、アルミニウムを主成分とする合金、および銀を主成分とする合金のうちから選ばれる金属で構成されていることを特徴とする、請求項1～2のいずれかに記載の窒化アルミニウム薄膜-金属電極積層体。

【請求項4】 前記窒化アルミニウム薄膜は前記第1の金属層と接して形成されていることを特徴とする、請求項1～3のいずれかに記載の窒化アルミニウム薄膜-金属電極積層体。

【請求項5】 前記窒化アルミニウム薄膜と前記第1の金属層との間に、前記金属電極の厚さの0.1倍以下の厚さの金属層または化合物層からなる界面層が形成されていることを特徴とする請求項1～3のいずれかに記載の窒化アルミニウム薄膜-金属電極積層体。

【請求項6】 前記界面層は、アルミニウム、シリコン、アルミニウムを主成分とする合金または化合物、およびシリコンを主成分とする合金または化合物から選ばれる金属または化合物で構成されていることを特徴とする、請求項5に記載の窒化アルミニウム薄膜-金属電極積層体。

【請求項7】 前記第2の金属層の前記第1の金属層に面する側とは反対の側の面に、密着金属層が形成されていることを特徴とする、請求項1～6のいずれかに記載の窒化アルミニウム薄膜-金属電極積層体。

【請求項8】 前記密着金属層は、マグネシウム、チタン、バナジウム、ジルコニウム、ハフニウム、ニオブ、タンタル、クロム、ニッケル、マグネシウムを主成分とする合金、チタンを主成分とする合金、バナジウムを主成分とする合金、ジルコニウムを主成分とする合金、ハフニウムを主成分とする合金、ニオブを主成分とする合金、タンタルを主成分とする合金、クロムを主成分とする合金、およびニッケルを主成分とする合金から選ばれる金属で構成されていることを特徴とする請求項7に記載の窒化アルミニウム薄膜-金属電極積層体。

【請求項9】 前記窒化アルミニウム薄膜の(0002)回折ピークのロッキング・カーブ半値幅(FWHM)が3.3°未満であることを特徴とする、請求項1～8のいずれかに記載の窒化アルミニウム薄膜-金属電極積層体。

【請求項10】 前記第1の金属層の(110)回折ピークのロッキング・カーブ半値幅(FWHM)が4.5°未満であることを特徴とする、請求項1～9のいずれかに記載の窒化アルミニウム薄膜-金属電極積層体。

【請求項11】 圧電体薄膜が複数の電極の間に挟み込まれ、前記圧電体薄膜がその周囲の支持により中心部に橋架けされてなる構造を有する薄膜圧電共振子において、前記圧電体薄膜と前記電極のうちの1つが請求項1～10のいずれかに記載の窒化アルミニウム薄膜-金属電極積層体で構成されていることを特徴とする薄膜圧電共振子。

【請求項12】 振動空間を有する半導体あるいは絶縁体からなる基板と、該基板の前記振動空間に面する位置にて下部電極、圧電体薄膜および上部電極がこの順に積層された積層構造体とを備えている薄膜圧電共振子において、前記圧電体薄膜と前記下部電極とが請求項1～10のいずれかに記載の窒化アルミニウム薄膜-金属電極積層体で構成されていることを特徴とする薄膜圧電共振子。

【請求項13】 前記上部電極は互いに隔離して配置された2つの電極部からなることを特徴とする、請求項12に記載の薄膜圧電共振子。

【請求項14】 前記振動空間に面する位置にて前記積層構造体には少なくとも一層の酸化シリコンおよび/または窒化シリコンを主成分とする絶縁層が付されていることを特徴とする、請求項12～13のいずれかに記載の薄膜圧電共振子。

【請求項15】 前記上部電極は、モリブデン、タングステン、ニオブ、アルミニウム、モリブデンを主成分とする合金、タングステンを主成分とする合金、ニオブを主成分とする合金、およびアルミニウムを主成分とする合金のうちから選ばれる金属を含んで構成されていることを特徴とする、請求項12～14のいずれかに記載の薄膜圧電共振子。

【請求項16】 前記上部電極は、モリブデン、タングステン、ニオブ、モリブデンを主成分とする合金、タングステンを主成分とする合金、ニオブを主成分とする合金、イリジウム、白金、金、銀、イリジウムを主成分とする合金、白金を主成分とする合金、金を主成分とする合金、銀を主成分とする合金、マグネシウム、アルミニウム、チタン、バナジウム、ジルコニウム、ハフニウム、タンタル、クロム、ニッケル、マグネシウムを主成分とする合金、アルミニウムを主成分とする合金、チタンを主成分とする合金、バナジウムを主成分とする合金、ジルコニウムを主成分とする合金、ハフニウムを主

成分とする合金、タンタルを主成分とする合金、クロムを主成分とする合金、およびニッケルを主成分とする合金から選ばれる金属からなる金属層の2種類以上の積層を含んで構成されていることを特徴とする、請求項12～14のいずれかに記載の薄膜圧電共振子。

【請求項17】 振動空間を有する半導体あるいは絶縁体からなる基板と、該基板の前記振動空間に面する位置にて下部電極、第1の圧電体薄膜、内部電極、第2の圧電体膜および上部電極がこの順に積層された積層構造体とを備えている薄膜圧電共振子において、前記第1の圧電体薄膜と前記下部電極とが請求項1～10のいずれかに記載の窒化アルミニウム薄膜-金属電極積層体で構成されていることを特徴とする薄膜圧電共振子。

【請求項18】 前記振動空間に面する位置にて前記積層構造体には少なくとも一層の酸化シリコンおよび/または窒化シリコンを主成分とする絶縁層が付されていることを特徴とする、請求項17に記載の薄膜圧電共振子。

【請求項19】 前記上部電極及び前記内部電極のそれぞれは、モリブデン、タングステン、ニオブ、アルミニウム、モリブデンを主成分とする合金、タングステンを主成分とする合金、ニオブを主成分とする合金、およびアルミニウムを主成分とする合金のうちから選ばれる金属を含んで構成されていることを特徴とする、請求項17～18のいずれかに記載の薄膜圧電共振子。

【請求項20】 前記上部電極及び前記内部電極のそれぞれは、モリブデン、タングステン、ニオブ、モリブデンを主成分とする合金、タングステンを主成分とする合金、ニオブを主成分とする合金、イリジウム、白金、金、銀、イリジウムを主成分とする合金、白金を主成分とする合金、金を主成分とする合金、銀を主成分とする合金、マグネシウム、アルミニウム、チタン、バナジウム、ジルコニウム、ハフニウム、タンタル、クロム、ニッケル、マグネシウムを主成分とする合金、アルミニウムを主成分とする合金、チタンを主成分とする合金、バナジウムを主成分とする合金、ジルコニウムを主成分とする合金、ハフニウムを主成分とする合金、タンタルを主成分とする合金、クロムを主成分とする合金、およびニッケルを主成分とする合金から選ばれる金属からなる金属層の2種類以上の積層を含んで構成されていることを特徴とする、請求項17～18のいずれかに記載の薄膜圧電共振子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、移動体通信機等に利用される薄膜共振器、薄膜VCO（電圧制御発振器）、薄膜フィルター、送受信分波器や各種センサーなど、広範な分野に応用される薄膜圧電共振子及び該薄膜圧電共振子の圧電体薄膜として有用な窒化アルミニウム薄膜を用いた積層体に関するものである。

【0002】

【従来の技術】圧電現象を応用した素子は広範な分野で用いられている。携帯機器の小型化と省力化が進む中で、RF用およびIF用フィルターとして弾性表面波（Surface Acoustic Wave: SAW）素子の使用が拡大している。SAWフィルターは設計および生産技術の向上によりユーザーの厳しい要求仕様に対応してきたが、利用周波数の高周波数化と共に特性向上の限界に近づき、電極形成の微細化と安定した出力確保の両面で大きな技術革新が必要となってきた。一方、圧電体薄膜の厚み振動を利用した薄膜バルク波共振子（Thin Film Bulk Acoustic Resonator: 以下FBARと略称）、積層型薄膜バルク波共振器およびフィルター（Stacked Thin Film Bulk Wave Acoustic Resonators and Filters: 以下SBARと略称）は、基板に設けられた薄い支持膜の上に、主として圧電体より成る薄膜と、これを駆動する電極を形成したものであり、ギガヘルツ帯での基本共振が可能である。FBARまたはSBARでフィルターを構成すれば、著しく小型化でき、かつ低損失・広帯域動作が可能な上に、半導体集積回路と一体化することができるので、将来の超小型携帯機器への応用が期待されている。

【0003】弾性表面波を利用した共振器、フィルター等に応用されるSAWフィルターは、以下のようにして製造される。シリコンなどの半導体単結晶基板や、シリコンウエハー上に多結晶ダイヤモンドを形成してなる硬質基板などの上に、種々の薄膜形成方法によって圧電体薄膜を形成する。次に、微細加工、パターニングにより、該圧電体薄膜の表面に弾性表面波を励振させるための楕形の電極や反射器を形成する。最後に、1素子単位に分離することによりSAWフィルターを得る。

【0004】また、弾性波を利用した共振器、フィルター等に応用されるFBAR、SBARなどの薄膜圧電素子は、以下のようにして製造される。シリコンなどの半導体単結晶基板や、シリコンウエハー上に多結晶ダイヤモンドを形成してなる基板や、エリンバーなどの恒弾性金属からなる基板の上に、種々の薄膜形成方法によって、誘電体薄膜、導電体薄膜、またはこれらの積層膜からなる下地膜を形成する。この下地膜上に圧電体薄膜を形成し、さらに必要に応じた構成の上部構造を形成する。各層の形成後に、または全層を形成した後に、各々の膜に物理的処理または化学的処理を施すことにより、微細加工、パターニングを行う。異方性エッチングにより基板から圧電体薄膜の振動部の下に位置する部分を除去した浮き構造を作製した後、最後に1素子単位に分離することにより薄膜圧電素子を得る。

【0005】例えば、特開昭60-142607号公報に記載された薄膜圧電素子は、基板上に下地膜、下部電

極、圧電体薄膜、上部電極を形成した後に、基板裏面から振動部となる部分の下にある基板部分を除去して、ヒアホールを形成することにより製造されている。

【0006】薄膜圧電素子用の圧電材料としては、窒化アルミニウム (AlN)、酸化亜鉛 (ZnO)、硫化カドミウム (CdS)、チタン酸鉛 [PT] (PbTiO<sub>2</sub>)、チタン酸ジルコン酸鉛 [PZT] (Pb(Zr, Ti)O<sub>3</sub>) などが用いられている。特に AlN は、弾性波の伝播速度が速く、高周波帯域で動作する薄膜共振器や薄膜フィルタ用の圧電材料として適している。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】これまで、AlN 薄膜を FBAR または SBAR に適用するために、種々の検討が行われてきた。しかしながら、未だ、ギガヘルツ帯域で十分な性能を発揮する薄膜共振器及び薄膜フィルタは得られておらず、AlN 薄膜の音響的品質係数 (Q 値)、周波数温度係数および挿入損失の改善が望まれている。音響的品質係数 (Q 値)、広帯域動作、周波数温度特性の全てに優れ、高性能な共振特性を示す薄膜圧電素子は提案されていない。電気機械結合係数は共振器やフィルタを構成する上で上記の様な性能を左右する重要なパラメータであり、使用する圧電体薄膜の膜品質に大きく依存する。

【0008】そこで、本発明は、弾性波の伝播速度が速いという AlN 薄膜の特長を活かしつつ、電気機械結合係数が大きく、従って音響的品質係数 (Q 値)、帯域幅、周波数温度特性に優れ、従来に比べて著しく高特性、高性能な FBAR または SBAR を実現できる薄膜圧電共振器を提供することを目的とする。また、本発明は、このような薄膜圧電共振器を実現するために好適であって窒化アルミニウム薄膜を含んでなる積層体を提供することを目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】本発明者らは、AlN 薄膜の配向性と結晶性が下地膜を構成する金属電極膜の配向性および結晶性に著しく依存することを見出した。また、本発明者らは、AlN 薄膜を圧電体薄膜として Si 基板上に構成した FBAR または SBAR の共振特性が、下部電極となる金属薄膜の材質、弾性率、配向性、結晶性などの性状と AlN 薄膜自体の配向性、結晶性、圧電性などの性状との両方に大きく依存することを見出した。即ち、高弾性かつ高配向性の金属薄膜より成る下部電極と高配向性、高結晶性の c 軸配向窒化アルミニウム薄膜との組み合わせを最適化して、両者の膜質を制御、向上させることにより、薄膜圧電共振子の電気機械結合係数及び音響的品質係数 (Q 値) が大きくなり、薄膜圧電共振器や薄膜圧電フィルタとしての性能が著しく向上することを見出した。即ち、下部電極を体心立方構造の第 1 の金属層と面心立方構造の第 2 の金属層との積層を含む 2 以上の金属層から構成し、その上に AlN

より成る圧電体薄膜を形成することにより、該 AlN 薄膜の配向性および結晶性が改善され、この様にして得られる積層体を用いて FBAR または SBAR を構成することにより、電気機械結合係数が大きく、Q 値、帯域幅、周波数温度特性に優れた高性能な FBAR または SBAR を実現できることを見出して、本発明を完成させた。

【0010】即ち、本発明によれば、以上の様な目的を達成するものとして、金属電極と該金属電極の上に少なくとも一部が形成された c 軸配向を示す窒化アルミニウム薄膜との積層体であって、前記金属電極が体心立方構造を有する第 1 の金属層と面心立方構造を有する第 2 の金属層との積層を含む 2 以上の金属層から構成されており、前記第 1 の金属層の厚さが前記金属電極の厚さの 0.5 倍以上であることを特徴とする窒化アルミニウム薄膜-金属電極積層体、が提供される。

【0011】本発明の一態様においては、前記第 1 の金属層は、モリブデン、タングステン、モリブデンを主成分とする合金、およびタングステンを主成分とする合金のうちから選ばれる金属で構成されている。本発明の一態様においては、前記第 2 の金属層は、イリジウム、白金、金、アルミニウム、銀、イリジウムを主成分とする合金、白金を主成分とする合金、金を主成分とする合金、アルミニウムを主成分とする合金、および銀を主成分とする合金のうちから選ばれる金属で構成されている。本発明の一態様においては、前記窒化アルミニウム薄膜は前記第 1 の金属層と接して形成されている。

【0012】本発明の一態様においては、前記窒化アルミニウム薄膜と前記第 1 の金属層との間に、前記金属電極の厚さの 0.1 倍以下の厚さの金属層または化合物層からなる界面層が形成されている。本発明の一態様においては、前記界面層は、アルミニウム、シリコン、アルミニウムを主成分とする合金または化合物、およびシリコンを主成分とする合金または化合物から選ばれる金属または化合物で構成されている。

【0013】本発明の一態様においては、前記第 2 の金属層の前記第 1 の金属層に面する側とは反対の側の面に、密着金属層が形成されている。本発明の一態様においては、前記密着金属層は、マグネシウム、チタン、バナジウム、ジルコニウム、ハフニウム、ニオブ、タンタル、クロム、ニッケル、マグネシウムを主成分とする合金、チタンを主成分とする合金、バナジウムを主成分とする合金、ジルコニウムを主成分とする合金、ハフニウムを主成分とする合金、ニオブを主成分とする合金、タンタルを主成分とする合金、クロムを主成分とする合金、およびニッケルを主成分とする合金から選ばれる金属で構成されている。

【0014】本発明の一態様においては、前記窒化アルミニウム薄膜の (0002) 回折ピークのロッキング・カーブ半値幅 (FWHM) が 3.3° 未満である。本発

明の一態様においては、前記第1の金属層の(110)回折ピークのロッキング・カーブ半値幅(FWHM)が4.5°未満である。

【0015】また、本発明によれば、以上の様な目的を達成するものとして、圧電体薄膜が複数の電極の間に挟み込まれ、前記圧電体薄膜がその周囲の支持により中心部に橋架けされてなる構造を有する薄膜圧電共振子において、前記圧電体薄膜と前記電極のうちの1つが以上の様な窒化アルミニウム薄膜-金属電極積層体で構成されていることを特徴とする薄膜圧電共振子、が提供される。

【0016】また、本発明によれば、以上の様な目的を達成するものとして、振動空間を有する半導体あるいは絶縁体からなる基板と、該基板の前記振動空間に面する位置にて下部電極、圧電体薄膜および上部電極がこの順に積層された積層構造体とを備えている薄膜圧電共振子において、前記圧電体薄膜と前記下部電極とが以上の様な窒化アルミニウム薄膜-金属電極積層体で構成されていることを特徴とする薄膜圧電共振子、が提供される。

【0017】本発明の一態様においては、前記上部電極は互いに隔離して配置された2つの電極部からなる。

【0018】また、本発明によれば、以上の様な目的を達成するものとして、振動空間を有する半導体あるいは絶縁体からなる基板と、該基板の前記振動空間に面する位置にて下部電極、第1の圧電体薄膜、内部電極、第2の圧電体薄膜および上部電極がこの順に積層された積層構造体とを備えている薄膜圧電共振子において、前記第1の圧電体薄膜と前記下部電極とが以上の様な窒化アルミニウム薄膜-金属電極積層体で構成されていることを特徴とする薄膜圧電共振子、が提供される。

【0019】以上の本発明の一態様においては、前記振動空間に面する位置にて前記積層構造体には少なくとも一層の酸化シリコンおよび/または窒化シリコンを主成分とする絶縁層が付されている。

【0020】以上の本発明の一態様においては、前記上部電極や前記内部電極は、モリブデン、タングステン、ニオブ、アルミニウム、モリブデンを主成分とする合金、タングステンを主成分とする合金、ニオブを主成分とする合金、およびアルミニウムを主成分とする合金のうちから選ばれる金属を含んで構成されている。

【0021】以上の本発明の一態様においては、前記上部電極や前記内部電極は、モリブデン、タングステン、ニオブ、モリブデンを主成分とする合金、タングステンを主成分とする合金、ニオブを主成分とする合金、イリジウム、白金、金、銀、イリジウムを主成分とする合金、白金を主成分とする合金、金を主成分とする合金、銀を主成分とする合金、マグネシウム、アルミニウム、チタン、バナジウム、ジルコニウム、ハフニウム、タンタル、クロム、ニッケル、マグネシウムを主成分とする合金、アルミニウムを主成分とする合金、チタンを主成

分とする合金、バナジウムを主成分とする合金、ジルコニウムを主成分とする合金、ハフニウムを主成分とする合金、タンタルを主成分とする合金、クロムを主成分とする合金、およびニッケルを主成分とする合金から選ばれる金属からなる金属層の2種類以上の積層を含んで構成されている。

【0022】本発明では、体心立方構造の第1の金属層と面心立方構造の第2の金属層との積層を含む2層以上の金属薄膜から構成された金属電極上にAIN薄膜を形成することにより窒化アルミニウム薄膜-金属電極積層体を作製する。典型的には、金属電極は所定の形状にパターンニングされるので、AIN薄膜の一部はシリコン基板またはシリコン基板上に形成された酸化シリコンおよび/または窒化シリコンを主成分とする絶縁層上に形成される。金属電極の弾性率を高めるためには、体心立方構造の高弾性率の第1の金属層の厚さは金属電極を構成する2層以上の金属薄膜全体の厚さの0.5倍以上にする必要がある。

【0023】面心立方構造の金属においては、(111)面の原子密度は(100)面、(110)面などの他の方位の結晶面の原子密度よりも高いので、(111)面が表面エネルギーの小さな熱力学的に安定な結晶面として存在する。このため、面心立方構造の金属においては、(111)配向の高結晶性の薄膜が得られるので、結晶の配向性評価の指標となる(111)回折ピークのロッキング・カーブは急峻なピークとなり、その半値幅(FWHM)は小さな値となる。このような高配向性、高結晶性の金属薄膜と接して形成された窒化アルミニウムは、やはり高配向性、高結晶性の薄膜として成長し易いので、ロッキング・カーブ半値幅(FWHM)の小さな良質の窒化アルミニウム薄膜が得られる。しかしながら、面心立方構造の金属は、イリジウムおよびイリジウムを主成分とする合金を除けば、弾性率が小さいという難点がある。また、イリジウムおよびイリジウムを主成分とする合金には、高価で、微細加工が難しいという問題がある。

【0024】これに対して、体心立方構造の金属においては、(110)面の原子密度は(100)面、(111)面などの他の方位の結晶面の原子密度よりも若干高い程度であり、必ずしも(110)面が安定に成長できるわけではない。このため、通常の薄膜形成手段では、(110)配向の高結晶性の薄膜を得ることは難しく、結晶の配向性評価の指標となる(110)回折ピークのロッキング・カーブが広がり、その半値幅(FWHM)は大きな値となる。

【0025】本発明においては、高配向性、高結晶性の薄膜が容易に得られる面心立方構造の第2の金属の薄膜の上に、体心立方構造の第1の金属の薄膜を形成することによって、(110)配向で高配向性、高結晶性の体心立方構造の第1の金属の薄膜を容易に得ることができ



る。面心立方構造の第2の金属としては、イリジウム、白金、金、アルミニウム、銀、イリジウムを主成分とする合金、白金を主成分とする合金、金を主成分とする合金、アルミニウムを主成分とする合金、および銀を主成分とする合金のうちから選ばれる金属を採用することが好ましい。体心立方構造の第1の金属としては、モリブデン、タングステン、モリブデンを主成分とする合金、タングステンを主成分とする合金などの弾性率が $2 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$ 以上の高弾性金属を使用することが好ましい。これらの高弾性金属は、薄膜圧電共振子用の電極材質として望ましい特性を有している。例えば、モリブデンの熱弾性損失はアルミニウムの約1/56より小さく、この点で、モリブデンは特に好適な電極材料である。以上のようにして作製された前記の第1の金属層の(110)回折ピークのロッキング・カーブ半値幅(FWHM)は4.5°未満、好ましくは3.5°以下である。このような、(110)配向で高配向性、高結晶性の体心立方構造の金属薄膜と接して窒化アルミニウム薄膜を形成することにより、(0002)回折ピークのロッキング・カーブ半値幅(FWHM)が3.3°未満、好ましくは2.5°以下となる高配向性、高結晶性の窒化アルミニウム薄膜を容易に成長させることができ、FBAR、SBARなどの用途に適した高特性の窒化アルミニウム薄膜-金属電極積層体を得ることができる。

【0026】また、本発明においては、窒化アルミニウム薄膜と体心立方構造の第1の金属層との間に、金属電極を構成する2層以上の金属薄膜全体の厚さの0.1倍以下の厚さの別の金属層または化合物層からなる界面層を形成させていても、前記と同様の高配向性、高結晶性の窒化アルミニウム薄膜を容易に成長させることができ、FBAR、SBARなどの用途に適した高特性の窒化アルミニウム薄膜-金属電極積層体を得ることができる。窒化アルミニウム薄膜と体心立方構造の第1の金属層との間に形成される界面層となる金属層または化合物層は、アルミニウム、シリコン、アルミニウムを主成分とする合金または化合物、およびシリコンを主成分とする合金または化合物から選ばれる金属または化合物で構成されていることが好ましい。

【0027】本発明の窒化アルミニウム薄膜-金属電極積層体は、典型的には、半導体あるいは絶縁体から成る基板の上に形成される。このため、基板と金属電極との密着性が重要となる。両者の密着度を改善するために、面心立方構造の第2の金属層と基板との間に密着金属層を介在させることが望ましい。密着金属層に使用する金属としては、マグネシウム、チタン、バナジウム、ジルコニウム、ハフニウム、ニオブ、タンタル、クロム、ニッケル、マグネシウムを主成分とする合金、チタンを主成分とする合金、バナジウムを主成分とする合金、ジルコニウムを主成分とする合金、ハフニウムを主成分とする合金、ニオブを主成分とする合金、タンタルを主成分

とする合金、クロムを主成分とする合金、およびニッケルを主成分とする合金から選ばれる金属を採用することが好ましい。

【0028】本発明で提案した体心立方構造の金属層と面心立方構造の金属層との積層というような、結晶構造の異なる2種類以上の金属層を積層した多層金属薄膜電極の上に窒化アルミニウムを成長させることによって、窒化アルミニウム薄膜の配向性、結晶性などの膜質を改善しようとする試みは、これまで全く行われていない。また、このような多層金属薄膜と窒化アルミニウム薄膜との組み合わせにより、圧電体薄膜の品質を向上させて、共振器、フィルターなどの薄膜圧電素子としての性能を改善しようという試みも、これまで全く行われていない。

【0029】本発明によれば、2.0~3.0GHzの範囲における共振周波数と反共振周波数の測定値から求めた電気機械結合係数 $k_t^2$ が4.5%以上たとえば4.5~6.5%である高性能な薄膜圧電共振子が得られる。

【0030】また、本発明の薄膜圧電共振子においては、下部電極が、体心立方構造で(110)回折ピークのロッキング・カーブ半値幅(FWHM)が4.5°未満となる第1の金属層と面心立方構造の第2の金属層との積層を含む2以上の金属層から構成されていると共に、窒化アルミニウム(AlN)薄膜がc軸配向を示し、(0002)面の回折ピークのロッキング・カーブ半値幅(FWHM)が3.3°未満である場合に、薄膜圧電共振子の性能が一層向上する。

【0031】また、本発明の薄膜圧電共振子においては、下部電極、圧電体薄膜および上部電極がこの順に積層された積層構造体、または下部電極、第1の圧電体薄膜、内部電極、第2の圧電体膜および上部電極がこの順に積層された積層構造体に、振動空間に面する位置にて少なくとも一層の酸化シリコン( $\text{SiO}_2$ )および/または窒化シリコン( $\text{Si}_3\text{N}_4$ )を主成分とする絶縁層を形成することにより、薄膜圧電共振子の周波数温度係数などの特性を更に改善することができる。

【0032】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態について詳細に説明する。

【0033】図1は本発明による薄膜圧電共振子の実施形態を示す模式的平面図であり、図2はそのX-X断面図である。これらの図において、薄膜圧電共振子11は基板12、該基板12の上面上に形成された絶縁体層13および該絶縁体層13の上面上に形成された圧電積層構造体14を有する。圧電積層構造体14は、絶縁体層13の上面上に形成された下部電極15、該下部電極15の一部を覆うようにして絶縁体層13の上面上に形成された圧電体薄膜16および該圧電体薄膜16の上面上に形成された上部電極17からなる。基板12には、空



隙を形成するビアホール20が形成されている。絶縁体層13の一部はビアホール20に向けて露出している。この絶縁体層13の露出部分、およびこれに対応する圧電積層構造体14の部分が振動部(振動ダイヤフラム)21を構成する。また、下部電極15および上部電極17は、振動部21に対応する領域内に形成された主体部15a、17aと、該主体部15a、17aと外部回路との接続のための端子部15b、17bを有する。端子部15b、17bは振動部21に対応する領域外に位置する。

【0034】基板12としては、Si(100)単結晶などの単結晶、またはSi単結晶などの基材の表面にシリコン、ダイヤモンドその他の多結晶膜を形成したものをを用いることができる。基板12としては、その他の半導体さらには絶縁体を用いることも可能である。基板12のビアホール20の形成方法としては、基板下面側からの異方性エッチング法が例示される。なお、基板12に形成される空隙は、ビアホール20によるものには限定されず、振動部21の振動を許容するものであればよく、該振動部21に対応する基板上面領域に形成した凹部であってもよい。

【0035】絶縁体層13としては、例えば酸化シリコン(SiO<sub>2</sub>)を主成分とする誘電体膜、窒化シリコン(SiN<sub>x</sub>)を主成分とする誘電体膜、および酸化シリコンを主成分とする誘電体膜と窒化シリコンを主成分とする誘電体膜との積層膜を用いることができる。この絶縁体層13の材質について、主成分とは、層中の含有量が50当量%以上である成分を指す(他の層の材質についても同様)。誘電体膜は単層からなるものであってもよいし、密着性を高めるための層などを付加した複数層からなるものであってもよい。絶縁体層13の厚さは、例えば2.0μm未満、好ましくは0.5μm以下である。絶縁体層13の形成方法としては、シリコンから成る基板12の表面の熱酸化法やCVD法が例示される。また、本発明においては、エッチングにより、振動部21に対応する領域の絶縁体層13を総て除去して、下部電極15がビアホール20に向けて露出した構造を採用することもできる。このように、振動部21に対応する領域の絶縁体層13を総て除去することにより、共振周波数の温度特性は若干悪化するものの、音響的品質係数(Q値)が向上するという利点がある。

【0036】下部電極15は、体心立方構造を有する第1の金属層と、面心立方構造を有する第2の金属層と、更に必要に応じて第2の金属層と基板12との間に形成される密着金属層とを積層することにより構成されており、その厚さは例えば50~300nmである。圧電体薄膜16はAlNから成り、その厚さは例えば0.5~3.0μmである。上部電極17は、例えば、モリブデン、タングステン、ニオブ、アルミニウム、モリブデンを主成分とする合金、タングステンを主成分とする合

金、ニオブを主成分とする合金、およびアルミニウムを主成分とする合金のうちから選ばれる金属を含んで構成されている。あるいは、上部電極17は、例えば、モリブデン、タングステン、ニオブ、モリブデンを主成分とする合金、タングステンを主成分とする合金、ニオブを主成分とする合金、イリジウム、白金、金、銀、イリジウムを主成分とする合金、白金を主成分とする合金、金を主成分とする合金、銀を主成分とする合金、マグネシウム、アルミニウム、チタン、バナジウム、ジルコニウム、ハフニウム、タンタル、クロム、ニッケル、マグネシウムを主成分とする合金、アルミニウムを主成分とする合金、チタンを主成分とする合金、バナジウムを主成分とする合金、ジルコニウムを主成分とする合金、ハフニウムを主成分とする合金、タンタルを主成分とする合金、クロムを主成分とする合金、およびニッケルを主成分とする合金から選ばれる金属からなる金属層の2種類以上の積層を含んで構成されている。上部電極17の厚さは例えば50~300nmである。

【0037】一般に圧電材料の圧電特性は、結晶の分極の大きさ、分極軸の配列などに依存する。本発明で用いる圧電薄膜においても、その圧電性は薄膜を構成する結晶のドメイン構造、配向性、結晶性などの結晶性状に依存すると考えられる。本明細書において単一配向膜とは、基板表面と平行に目的とする結晶面が揃っている結晶化膜のことを意味する。例えば、(0001)単一配向膜は、膜面と平行に(0001)面が成長している膜を意味する。具体的には、ディフラクトメーター法によるX線回折測定を行った場合に、AlN結晶に起因した目的とする回折面以外の反射ピークがほとんど検出できないものを意味する。例えば、(000L)単一配向膜、即ち、c軸単一配向膜は、 $\theta-2\theta$ 回転のX線回折測定で(000L)面以外の反射強度が(000L)面反射の最大ピーク強度の5%未満、好ましくは2%未満、さらに好ましくは検出限界以下のものである。なお、(000L)面は、(0001)系列の面、即ち、(0001)面、(0002)面、(0004)面などの等価な面を総称する表示である。

【0038】本発明者らは、図1及び図2に示す構成のFBARにおいて、その共振特性が、電極を構成する多層金属薄膜の材質、弾性率、配向性、結晶性などの性状とAlN薄膜の配向性、結晶性などの性状との両方にどのように依存するのかについて検討した。図示されているFBARでは、下部電極15は、必要に応じて基板12と接して形成される密着金属層、面心立方構造の第2の金属層および体心立方構造の第1の金属層をこの順に積層することにより構成されたものである。

【0039】下部電極15として、スパッター法または蒸着法により、密着金属層、面心立方構造の第2の金属層、および体心立方構造の第1の金属層を順に形成した後、ドライエッチングによりこれらの金属層を所定の形

状にパターン化した。AlN薄膜16は、下部電極15を形成した基板12の上面に反応性スパッター法により膜形成した後、フォトリソグラフィー技術を用いて、ビアホール20上の部分を除く領域の一部分をエッチング除去することにより、所定の形状に加工した。この際、AlN薄膜16と体心立方構造の第1の金属層との間に、下部電極15を構成する2以上の金属層全体の厚さの0.1倍以下の厚さの別の金属層または化合物層を形成しても、本発明の目的は達成される。上部電極17は、ビアホール20上に残ったAlN薄膜16の上に形成した。上部電極17は矩形に近い形状とした。

【0040】本発明者らは、高配向性の薄膜が容易に得られる面心立方構造の金属の薄膜と弾性率が $2 \times 10^{11}$  N/m<sup>2</sup>以上の高弾性金属の薄膜とを積層することにより、高弾性金属に由来する特定の回折ピークのロッキング・カーブ半値幅(FWHM)が4.5°未満である高配向性かつ高弾性の積層金属薄膜を形成し、この積層金属薄膜上に窒化アルミニウム薄膜を成長させることで、(0002)回折ピークのロッキング・カーブ半値幅(FWHM)が3.3°未満である高配向性、高結晶性のc軸配向窒化アルミニウム薄膜を作製できることを見出した。

【0041】下部電極15に使用される体心立方構造(空間群I<sub>4</sub>/mcm)の第1の金属層として好適な材料は、モリブデン、タングステン、モリブデンを主成分とする合金、およびタングステンを主成分とする合金などであり、これらの材料は、(110)配向を示し、膜面と平行に(110)面が成長している。これらの材料は熱弾性損失が低いという特性を有する。モリブデン(Mo)を主成分とする合金としては、99.38%Mo-0.5%Ti-0.07%Zr-0.05%Cという組成を有するTZM合金、95%Mo-5%Re合金、90%Mo-10%W合金などがある。タングステン(W)を主成分とする合金としては、95%W-5%Re合金、90%W-10%Mo合金、W-Cu-Ni合金などがある。

【0042】下部電極15に使用される面心立方構造(空間群F<sub>4</sub>/mcm)の第2の金属層として好適な材料は、イリジウム、白金、金、アルミニウム、銀、イリジウムを主成分とする合金、白金を主成分とする合金、金を主成分とする合金、アルミニウムを主成分とする合金、銀を主成分とする合金などであり、これらの材料は(111)配向を示し、膜面と平行に(111)面が成長している。イリジウム(Ir)を主成分とする合金としてはIr-Pt合金などがある。白金(Pt)を主成分とする合金としてはPtとRh、Ir、Ru、Pd、Au、Ni、Wから選ばれる金属との合金などがある。金(Au)を主成分とする合金としてはAuとPd、Pt、Fe、Ni、Cu、Agから選ばれる金属との合金などがある。アルミニウム(Al)を主成分とする合金として

は、Alに少量のSi、Cuを添加または固溶させたAl-Si-Cu系合金、Al-Si系合金、Alに少量のMo、Wを固溶させた合金、Al-Cu-Mg-Mn系合金、Al-Cu-Mg-Ni系合金、Al-Mg系合金、Al-Zn-Mg系合金などがある。銀(Ag)を主成分とする合金としては、AgとZn、Al、Au、Sn、Cuから選ばれる金属との合金などがある。

【0043】AlN薄膜16と体心立方構造の第1の金属層との間に形成される別の金属または化合物の層(界面層)として使用される好適な材料は、アルミニウム、シリコン、アルミニウムを主成分とする合金または化合物、およびシリコンを主成分とする合金または化合物などである。アルミニウム(Al)を主成分とする合金としては、前記のAl-Si-Cu系合金、Al-Si系合金、Al-Mo-W系合金、Al-Cu-Mg-Mn系合金、Al-Cu-Mg-Ni系合金、Al-Mg系合金、Al-Zn-Mg系合金などがある。アルミニウム(Al)を主成分とする化合物としては、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、N<sub>x</sub>などがある。シリコン(Si)を主成分とする化合物としてはSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>、SiN<sub>x</sub>、SiO<sub>x</sub>、N<sub>x</sub>、SiO<sub>x</sub>などがある。

【0044】基板12と面心立方構造の第2の金属層との間に形成される密着金属層として使用される好適な材料は、マグネシウム、チタン、バナジウム、ジルコニウム、ハフニウム、ニオブ、タンタル、クロム、ニッケル、マグネシウムを主成分とする合金、チタンを主成分とする合金、バナジウムを主成分とする合金、ジルコニウムを主成分とする合金、ハフニウムを主成分とする合金、ニオブを主成分とする合金、タンタルを主成分とする合金、クロムを主成分とする合金、およびニッケルを主成分とする合金などである。マグネシウム(Mg)を主成分とする合金としてはMg-Al-Zn-Mn合金、Mg-Zn-Zr合金、Mg-希土類元素系合金などがある。チタン(Ti)を主成分とする合金としてはTiとAl、Mo、V、Cr、Mn、Feから選ばれる金属との合金などがある。ニオブ(Nb)を主成分とする合金としてはNb-Si-Ti-Fe合金などがある。タンタル(Ta)を主成分とする合金としてはTaとCr、Fe、Co、Ni、W、Ptから選ばれる金属との合金などがある。クロム(Cr)を主成分とする合金としてはCrとFe、Co、Ni、Moから選ばれる金属との合金などがある。ニッケル(Ni)を主成分とする合金としてはNiとAl、Si、Cr、Mn、Fe、Cu、Moから選ばれる金属との合金などがある。

【0045】上部電極17に使用される金属として好適な材料は、モリブデン、タングステン、ニオブ、アルミニウム、モリブデンを主成分とする合金、タングステンを主成分とする合金、ニオブを主成分とする合金、およびアルミニウムを主成分とする合金などである。また、上部電極17として、モリブデン、タングステン、ニオ

ブ、モリブデンを主成分とする合金、タングステンを主成分とする合金、ニオブを主成分とする合金、イリジウム、白金、金、銀、イリジウムを主成分とする合金、白金を主成分とする合金、金を主成分とする合金、銀を主成分とする合金、マグネシウム、アルミニウム、チタン、バナジウム、ジルコニウム、ハフニウム、タンタル、クロム、ニッケル、マグネシウムを主成分とする合金、アルミニウムを主成分とする合金、チタンを主成分とする合金、バナジウムを主成分とする合金、ジルコニウムを主成分とする合金、ハフニウムを主成分とする合金、タンタルを主成分とする合金、クロムを主成分とする合金、およびニッケルを主成分とする合金から選ばれた金属からなる層を2層以上積層してなる積層金属薄膜から構成されたものを使用することで、特性を安定化させることができる。

【0046】体心立方構造の第1の金属層と面心立方構造の第2の金属層との積層を含む2層以上の積層金属薄膜上に形成されたc軸配向の窒化アルミニウム薄膜のX線回折により測定した(0002)回折ピークのロッキング・カーブ半値幅(FWHM)は3.3°未満である。ロッキング・カーブ半値幅(FWHM)が3.3°以上であると、電気機械結合係数 $k_t^2$ と音響的品質係数(Q値)が低下し、共振特性が悪化するので好ましくない。さらに、ロッキング・カーブ半値幅(FWHM)が過度に大きくなると、下部電極端子部15bと下部電極端子部17bとの間に電流リークが発生しやすくなる傾向にある。

【0047】なお、図1及び図2に示す構成の薄膜圧電共振子では、圧電体薄膜の上下の電極に電界を印加して厚み方向に分極処理することでバルク波を励振させている。この為、下部電極を端子電極とすべく、下部電極の一部を露出させる必要がある。この構成は共振器としてしか利用できず、フィルターにするには、2個以上の素子を組合わせる必要がある。

【0048】図3は本発明による薄膜圧電共振子の別の実施形態を示す模式的平面図であり、図4はそのX-X断面図である。これらの図においては、上記図1および図2における同様の機能を有する部材には同一の符号が付されている。

【0049】本実施形態では、下部電極15は矩形に近い形状をなしており、上部電極17は、第1の電極部17Aと第2の電極部17Bとから成る。これら電極部17A、17Bはそれぞれ主体部17Aa、17Baと端子部17Ab、17Bbとを有する。主体部17Aa、17Baは振動部21に対応する領域内に位置しており、端子部17Ab、17Bbは振動部21に対応する領域以外の領域に位置している。

【0050】本実施形態では、上部電極17のうちの一方(例えば第2の電極部17B)と下部電極15との間に入力電圧を印加し、上部電極17のうちの他方(例え

ば第1の電極部17A)と下部電極15との間の電圧を出力電圧として取り出すことができるので、これ自体をフィルターとして使用することができる。このような構成のフィルターを通過帯域フィルターの構成要素として使用することにより、素子内配線が不要となるので該配線に起因する損失がなく、阻止帯域の減衰特性が良好となり、フィルターとしての周波数応答性が向上する。

【0051】図5は本発明による薄膜圧電共振子のさらに別の実施形態を示す模式的平面図であり、図6はそのX-X断面図である。これらの図においては、上記図1～図4における同様の機能を有する部材には同一の符号が付されている。

【0052】本実施形態は、図1および図2に記載の実施形態の圧電積層構造体を2つ積層したものに相当する圧電積層構造体を有する積層薄膜バルク音響共振子(Stacked Thin Film Bulk Acoustic Resonators)である。即ち、絶縁体層13上に下部電極15、第1の圧電体薄膜16-1、内部電極17'、第2の圧電体薄膜16-2および上部電極18がこの順に積層形成されている。内部電極17'は、第1の圧電体薄膜16-1に対する上部電極としての機能と第2の圧電体薄膜16-2に対する下部電極としての機能を有する。

【0053】本実施形態では、下部電極15と内部電極17'との間に入力電圧を印加し、該内部電極17'と上部電極18との間の電圧を出力電圧として取り出すことができるので、これ自体を多極型フィルターとして使用することができる。このような構成の多極型フィルターを通過帯域フィルターの構成要素として使用することにより、素子内配線が不要となるので該配線に起因する損失がなく、阻止帯域の減衰特性が良好となり、フィルターとしての周波数応答性が向上する。

【0054】以上のような薄膜圧電共振子において、マイクロ波プローバーを使用して測定したインピーダンス特性における共振周波数 $f_r$ 、および反共振周波数 $f_a$ と電気機械結合係数 $k_t^2$ との間には、以下の関係

$$k_t^2 = \phi_r / \tan(\phi_r) \\ \phi_r = (\pi/2)(f_r / f_a) \\ \text{がある。}$$

【0055】簡単のため、電気機械結合係数 $k_t^2$ として、次式

$$k_t^2 = 4.8(f_a - f_r) / (f_a + f_r)$$

から算出したものを用いることができ、本明細書では、電気機械結合係数 $k_t^2$ の数値は、この式を用いて算出したものを採用している。

【0056】図1及び図2、図3及び図4、並びに図5及び図6のそれぞれに示した構成のFBARまたはSBAARにおいて、2.0～3.0GHzの範囲における共振周波数と反共振周波数の測定値から求めた電気機械結合係数 $k_t^2$ は4.5%以上たとえば4.5～6.5%で

あるのが好ましい。電気機械結合係数  $k_t^2$  が 4.5% 未満になると、作製した FBAR の帯域幅が小さくなり、高周波域で使用する薄膜圧電共振子として実用に供することが難しくなる傾向にある。

【0057】

【実施例】以下、実施例および比較例を示し、本発明をさらに詳細に説明する。

【0058】〔実施例 1〕本実施例では、以下のようにして、図 1 及び図 2 に示されている構造の薄膜圧電共振子を作製した。

【0059】即ち、熱酸化法により、厚さ 350  $\mu\text{m}$  の (100) Si 基板 12 の上下両面に厚さ 1.1  $\mu\text{m}$  の SiO<sub>2</sub> 層を形成した後、上面側の SiO<sub>2</sub> 層のみをエッチングして、上面の SiO<sub>2</sub> 層の厚さを調整し、SiO<sub>2</sub> から成り表 3 に記載の厚さ値を有する絶縁体層 13 を形成した。この絶縁体層 13 の上面に、DC マグネトロン・スパッター法により、厚さ 60 nm の Au 金属層 (第 2 の金属層) および厚さ 150 nm の Mo 金属層 (第 1 の金属層) をこの順番に形成し、フォトリソグラフィによりパターン化して、Mo/Au 下部電極 15 を形成した。下部電極 15 の主体部 15a は、平面寸法 150  $\times$  170  $\mu\text{m}$  の矩形に近い形状とした。Au 金属層が (111) 配向膜、即ち単一配向膜であり、Mo 金属層が (110) 配向膜、即ち単一配向膜であることは、X 線回折測定により確認した。この Mo/Au 下部電極 15 を形成した基板 12 上に、純度 5 N の金属 Al をターゲットとして、反応性 RF マグネトロン・スパッター法により、表 2 に記載の条件で、AlN 薄膜を形成した。熱磷酸を使用した湿式エッチングにより、AlN 薄膜を所定の形状にパターン化して、AlN 圧電体薄膜 16 を形成した。

【0060】その後、DC マグネトロン・スパッター法とリフトオフ法を使用して、厚さ 190 nm で主体部 17a の平面寸法 130  $\times$  150  $\mu\text{m}$  の矩形に近い形状の Al 上部電極 17 を形成した。上部電極 17 の主体部 17a は、下部電極主体部 15a に対応する位置に配置した。次に、以上のようにして得られた構造体の下部電極 15 と上部電極 17 と圧電体薄膜 16 との形成されている側をプロテクトワックスで被覆し、Si 基板 12 の下面に形成された厚さ 1.1  $\mu\text{m}$  の SiO<sub>2</sub> 層をパターンニングして形成したマスクを用いて、振動部 21 に対応する Si 基板 12 の部分を加熱した KOH 水溶液でエッチング除去して、空隙となるピアホール 20 を形成した。

【0061】上記の工程によって製造された AlN 薄膜-金属電極積層体について、XPS 分光法により得られた AlN 薄膜 (圧電体薄膜) の組成分析を行うと共に、表面構造評価用多機能 X 線回折装置を使用して、ディフракトメーター法による格子定数測定と (0002) 回折ピークのロッキング・カーブ半値幅 (FWHM) 測定を行った。AlN 薄膜の組成および結晶性の評価結果を

10

20

30

40

50

表 2 に示す。

【0062】また、カスケード・マイクロテック製マイクロ波ブローバーとネットワークアナライザーを使用して、上記の薄膜圧電共振子 (FBAR) の電極端子 15b、17b 間のインピーダンス特性を測定すると共に、共振周波数  $f_r$  および反共振周波数  $f_a$  の測定値から、電気機械結合係数  $k_t^2$  および音響的品質係数  $Q$  を求めた。得られた薄膜圧電共振子の厚み振動の基本周波数、電気機械結合係数  $k_t^2$ 、および音響的品質係数  $Q$  を表 3 に示す。

【0063】〔実施例 2〕本実施例では、以下のようにして、図 1 及び図 2 に示されている構造の薄膜圧電共振子を作製した。

【0064】即ち、実施例 1 と同様の操作により、SiO<sub>2</sub> から成る絶縁体層 13 を形成した。この絶縁体層 13 の上面に、DC マグネトロン・スパッター法により表 1 に記載の厚さの Ti 金属層 (密着金属層)、Pt 金属層 (第 2 の金属層) 及び Mo 金属層 (第 1 の金属層) をこの順番に形成し、フォトリソグラフィによりパターン化して、Mo/Pt/Ti 下部電極 15 を形成した。下部電極 15 の主体部 15a は、平面寸法 150  $\times$  170  $\mu\text{m}$  の矩形に近い形状とした。Pt 金属層が (111) 単一配向膜であり、Mo 金属層が (110) 単一配向膜であることは、X 線回折測定により確認した。この Mo/Pt/Ti 下部電極 15 を形成した基板 12 上に、実施例 1 と同様の操作により、圧電体薄膜 16 を形成した。その後、DC マグネトロン・スパッター法とリフトオフ法を使用して、主体部 17a の平面寸法 130  $\times$  150  $\mu\text{m}$  の矩形に近い形状の Mo/Pt/Ti 上部電極 17 を形成した。Ti 金属層は密着金属層として使用され、Pt 金属層は面心立方構造の第 4 の金属層として使用され、Mo 金属層は体心立方構造の第 3 の金属層として使用され、これらの厚さは表 1 に記載された通りとした。上部電極 17 の主体部 17a は、下部電極主体部 15a に対応する位置に配置した。次に、実施例 1 と同様の操作により、空隙となるピアホール 20 を形成した。

【0065】上記の工程によって製造された AlN 薄膜-金属電極積層体について、XPS 分光法により得られた AlN 薄膜 (圧電体薄膜) の組成分析を行うと共に、表面構造評価用多機能 X 線回折装置を使用して、ディフракトメーター法による格子定数測定と (0002) 回折ピークのロッキング・カーブ半値幅 (FWHM) 測定を行った。AlN 薄膜の組成および結晶性の評価結果を表 2 に示す。

【0066】また、カスケード・マイクロテック製マイクロ波ブローバーとネットワークアナライザーを使用して、上記の薄膜圧電共振子 (FBAR) の電極端子 15b、17b 間のインピーダンス特性を測定すると共に、共振周波数  $f_r$  および反共振周波数  $f_a$  の測定値から、

電気機械結合係数 $k_t$ 、および音響的品質係数 $Q$ を求めた。得られた薄膜圧電共振子の厚み振動の基本周波数、電気機械結合係数 $k_t$ 、および音響的品質係数 $Q$ を表3に示す。

【0067】[実施例3] 本実施例では、以下のようにして、図1及び図2に示されている構造の薄膜圧電共振子を作製した。

【0068】即ち、実施例1と同様の操作により、 $SiO_2$  から成る絶縁体層13を形成した。この絶縁体層13の上面に、DCマグネトロン・スパッター法により表1に記載の厚さのTi金属層（密着金属層）、Au金属層（第2の金属層）及びMo金属層（第1の金属層）をこの順番に形成し、フォトリソグラフィーによりパターン化して、Mo/Au/Ti下部電極15を形成した。下部電極15の主体部15aは、平面寸法 $150 \times 170 \mu m$ の矩形に近い形状とした。Au金属層が（111）単一配向膜であり、Mo金属層が（110）単一配向膜であることは、X線回折測定により確認した。このMo/Au/Ti下部電極15を形成した基板12上に、実施例1と同様の操作により、圧電体薄膜16を形成した。その後、DCマグネトロン・スパッター法とリフトオフ法を使用して、主体部17aの平面寸法 $130 \times 150 \mu m$ の矩形に近い形状で厚さ195nmのMo上部電極17を形成した。上部電極17の主体部17aは、下部電極主体部15aに対応する位置に配置した。次に、実施例1と同様の操作により、空隙となるピアホール20を形成した。さらに、ドライエッチングにより、振動部21に対応する領域の絶縁体層13をもエッチング除去して、下部電極15の下面を露出させた。

【0069】上記の工程によって製造されたAlN薄膜-金属電極積層体について、実施例1と同様にして、AlN薄膜（圧電体薄膜）の組成分析、ディフラクトメータ法による格子定数測定、および（0002）回折ピークのロッキング・カーブ半値幅（FWHM）測定を行った。AlN薄膜の組成および結晶性の評価結果を表2に示す。

【0070】また、実施例1と同様にして、上記薄膜圧電共振子（FBAR）の電極端子15b、17b間のインピーダンス特性を測定すると共に、共振周波数 $f_r$ 、および反共振周波数 $f_a$ の測定値から、電気機械結合係数 $k_t$ 、および音響的品質係数 $Q$ を求めた。得られた薄膜圧電共振子の厚み振動の基本周波数、電気機械結合係数 $k_t$ 、および音響的品質係数 $Q$ を表3に示す。

【0071】[実施例4、5] 本実施例では、以下のようにして、図1及び図2に示されている構造の薄膜圧電共振子を作製した。

【0072】即ち、低圧CVD法により、厚さ $300 \mu m$ の（100）Si基板12の上下両面に表3に記載した厚さの $SiN_x$ 層を形成し、 $SiN_x$ から成る絶縁体層13を形成した。この絶縁体層13の上面に、DCマ

グネトロン・スパッター法により表1に記載の厚さのTi金属層（密着金属層）、Au金属層（第2の金属層）及びMo金属層（第1の金属層）をこの順番に形成し、フォトリソグラフィーによりパターン化してMo/Au/Ti下部電極15を形成した。下部電極15の主体部15aは、平面寸法 $150 \times 170 \mu m$ の矩形に近い形状とした。Au金属層が（111）単一配向膜であり、Mo金属層が（110）単一配向膜であることは、X線回折測定により確認した。このMo/Au/Ti下部電極15を形成した基板12上に、表1に記載の厚さの $SiN_x$ 層（界面層）またはAl層（界面層）を形成した後、実施例1と同様の操作により圧電体薄膜16を形成して、下部電極15とAlN薄膜（圧電体薄膜）16との界面に、 $SiN_x$ 層またはAl層が介在するような構成とした。

【0073】その後、DCマグネトロン・スパッター法とリフトオフ法を使用して、主体部17aの平面寸法 $130 \times 150 \mu m$ の矩形に近い形状のMo/Au/Ni上部電極17 [実施例4] または厚さ195nmのMo上部電極17 [実施例5] を形成した。実施例4において、Ti金属層は密着金属層として使用され、Pt金属層は第4の金属層として使用され、Mo金属層は第3の金属層として使用され、これらの厚さは表1に記載された通りとした。上部電極17の主体部17aは、下部電極主体部15aに対応する位置に配置した。次に、実施例1と同様の操作により、空隙となるピアホール20を形成した。

【0074】上記の工程によって製造されたAlN薄膜-金属電極積層体について、実施例1と同様にして、AlN薄膜（圧電体薄膜）の組成分析、ディフラクトメータ法による格子定数測定、および（0002）回折ピークのロッキング・カーブ半値幅（FWHM）測定を行った。AlN薄膜の組成および結晶性の評価結果を表2に示す。

【0075】また、実施例1と同様にして、上記薄膜圧電共振子（FBAR）の電極端子15b、17b間のインピーダンス特性を測定すると共に、共振周波数 $f_r$ 、および反共振周波数 $f_a$ の測定値から、電気機械結合係数 $k_t$ 、および音響的品質係数 $Q$ を求めた。得られた薄膜圧電共振子の厚み振動の基本周波数、電気機械結合係数 $k_t$ 、および音響的品質係数 $Q$ を表3に示す。

【0076】[実施例6、7] 本実施例では、以下のようにして、図3及び図4に示されている構造の薄膜圧電共振子を作製した。

【0077】即ち、実施例4と同様の操作により、 $SiN_x$  から成る絶縁体層13を形成した。この絶縁体層13の上面に、DCマグネトロン・スパッター法により表1に記載の材質と厚さとを有する密着金属層、第2の金属層及び第1の金属層をこの順番に形成し、フォトリソグラフィーによりパターン化して、Mo（TZM合金）



／Au／V下部電極15〔実施例6〕またはMo－Re合金／Au／Crより成る下部電極15〔実施例7〕を形成した。下部電極15の主体部15aは、振動部21に対応する部分を含むように延びている平面寸法120×280μmの矩形に近い形状とした。Au金属層が(111)単一配向膜であり、Mo(TZM合金)金属層またはMo－Re合金金属層が(110)単一配向膜であることは、X線回折測定により確認した。このMo(TZM合金)／Au／V下部電極15またはMo－Re合金／Au／Cr下部電極15を形成した基板12上に、実施例1と同様の操作により圧電体薄膜16を形成した。

【0078】その後、DCマグネトロン・スパッター法とリフトオフ法を使用して、平面寸法65×85μmの矩形に近い形状の主体部17Aa、17Baが間隔20μmをおいて配置されたMo(TZM合金)／Au上部電極17〔実施例6〕またはMo－Re合金／Au／Ti上部電極17〔実施例7〕を形成した。実施例6において、Au金属層は第4の金属層として使用され、Mo(TZM合金)金属層は第3の金属層として使用され、これらの厚さは表1に記載された通りとした。また、実施例7において、Ti金属層は密着金属層として使用され、Au金属層は第4の金属層として使用され、Mo－Re合金金属層は第3の金属層として使用され、これらの厚さは表1に記載された通りとした。上部電極17の主体部17Aa、17Baは、それぞれ下部電極15に対応する位置に配置した。次に、実施例1と同様の操作により、空隙となるピアホール20を形成した。

【0079】上記の工程によって製造されたAlN薄膜－金属電極積層体について、実施例1と同様にして、AlN薄膜(圧電体薄膜)の組成分析、ディフラクトメータ法による格子定数測定、および(0002)回折ピークのロッキング・カーブ半値幅(FWHM)測定を行った。AlN薄膜の組成および結晶性の評価結果を表2に示す。

【0080】また、カスケード・マイクロテック製マイクロ波プローバを使用して、上記薄膜圧電共振子の下部電極15の端子部(図3及び図4で左側の露出部分)を接地電極に接続し、上部電極17Aの端子部17Abから信号を入力し、上部電極17Bの端子部17Bbから出力信号を取り出して、ネットワークアナライザで信号強度・波形などを解析した。個々の共振子の共振周波数 $f$ 、および反共振周波数 $f_r$ の測定値から、電気機械結合係数 $k_t^2$ および音響的品質係数 $Q$ を求めた。得られた圧電薄膜共振子の厚み振動の基本周波数、電気機械結合係数 $k_t^2$ 、および音響的品質係数 $Q$ を表3に示す。

【0081】〔実施例8〕本実施例では、以下のようにして、図3及び図4に示されている構造の薄膜圧電共振子を作製した。

【0082】即ち、絶縁体層13、下部電極15、上部

電極17および圧電体薄膜16の材質及び厚さが表1～表3に示されているようにされたこと以外は、実施例6と同様の工程を実行した。ここで、絶縁体層13としては、熱酸化法により形成されたSiO<sub>2</sub>層を用いた。

【0083】実施例6と同様にして、得られたAlN薄膜(圧電体薄膜)の組成分析とX線回折測定を行った。AlN薄膜の組成および結晶性の評価結果を表2に示す。

【0084】また、実施例6と同様にして測定した、共振周波数 $f$ 、および反共振周波数 $f_r$ の測定値から、電気機械結合係数 $k_t^2$ および音響的品質係数 $Q$ を求めた。得られた薄膜圧電共振子の厚み振動の基本周波数、電気機械結合係数 $k_t^2$ 、および音響的品質係数 $Q$ を表3に示す。

【0085】〔実施例9、10〕本実施例では、以下のようにして、図1及び図2に示されている構造の薄膜圧電共振子を作製した。

【0086】即ち、絶縁体層13、下部電極15、上部電極17および圧電体薄膜16の材質及び厚さが表1～表3に示されているようにされたこと以外は、実施例2と同様の工程を実行した。

【0087】実施例2と同様にして、得られたAlN薄膜(圧電体薄膜)の組成分析とX線回折測定を行った。AlN薄膜の組成および結晶性の評価結果を表2に示す。

【0088】また、実施例2と同様にして測定した、共振周波数 $f$ 、および反共振周波数 $f_r$ の測定値から、電気機械結合係数 $k_t^2$ および音響的品質係数 $Q$ を求めた。得られた薄膜圧電共振子の厚み振動の基本周波数、電気機械結合係数 $k_t^2$ 、および音響的品質係数 $Q$ を表3に示す。

【0089】〔実施例11、12〕本実施例では、以下のようにして、図1及び図2に示されている構造の薄膜圧電共振子を作製した。

【0090】即ち、絶縁体層13、下部電極15、上部電極17および圧電体薄膜16の材質、厚さが表1～表3に示されているようにされたこと以外は、実施例4と同様の工程を実行した。

【0091】実施例4と同様にして、得られたAlN薄膜(圧電体薄膜)の組成分析とX線回折測定を行った。AlN薄膜の組成および結晶性の評価結果を表2に示す。

【0092】また、実施例4と同様にして測定した、共振周波数 $f$ 、および反共振周波数 $f_r$ の測定値から、電気機械結合係数 $k_t^2$ および音響的品質係数 $Q$ を求めた。得られた薄膜圧電共振子の厚み振動の基本周波数、電気機械結合係数 $k_t^2$ 、および音響的品質係数 $Q$ を表3に示す。

【0093】〔実施例13〕本実施例では、以下のようにして、図3及び図4に示されている構造の薄膜圧電共

振子を作製した。

【0094】即ち、絶縁体層13、下部電極15、上部電極17および圧電体薄膜16の材質、厚さが表1～表3に示されているようにされ、空隙となるピアホール20形成後に、ドライエッチングにより、振動部21に対応する領域の絶縁体層13をもエッチング除去して、下部電極15の下面を露出させたこと以外は、実施例8と同様の工程を実行した。

【0095】実施例8と同様にして、得られたA1N薄膜（圧電体薄膜）の組成分析とX線回折測定を行った。A1N薄膜の組成および結晶性の評価結果を表2に示す。

【0096】また、実施例8と同様にして測定した、共振周波数 $f$ 、および反共振周波数 $f_r$ の測定値から、電気機械結合係数 $k_t^2$ および音響的品質係数 $Q$ を求めた。得られた薄膜圧電共振子の厚み振動の基本周波数、電気機械結合係数 $k_t^2$ 、および音響的品質係数 $Q$ を表3に示す。

【0097】〔実施例14〕本実施例では、以下のようにして、図3及び図4に示されている構造の薄膜圧電共振子を作製した。

【0098】即ち、絶縁体層13、下部電極15、上部電極17および圧電体薄膜16の材質、厚さが表1～表3に示されているようにされたこと以外は、実施例8と同様の工程を実行した。

【0099】実施例8と同様にして、得られたA1N薄膜（圧電体薄膜）の組成分析とX線回折測定を行った。A1N薄膜の組成および結晶性の評価結果を表2に示す。

【0100】また、実施例8と同様にして測定した、共振周波数 $f$ 、および反共振周波数 $f_r$ の測定値から、電気機械結合係数 $k_t^2$ および音響的品質係数 $Q$ を求めた。得られた圧電薄膜共振子の厚み振動の基本周波数、電気機械結合係数 $k_t^2$ 、および音響的品質係数 $Q$ を表3に示す。

【0101】〔比較例1、2〕本比較例では、以下のようにして、図1及び図2に示されている構造の薄膜圧電共振子を作製した。

【0102】即ち、絶縁体層13、下部電極15、上部電極17および圧電体薄膜16の材質、厚さが表1～表3に示されているようにされたこと以外は、実施例1と同様の工程を実行した。

【0103】上記の工程によって製造されたA1N薄膜-金属電極積層体について、実施例1と同様にして、A1N薄膜（圧電体薄膜）の組成分析、ディフラクトメータ法による格子定数測定、および（0002）回折ピークのロッキング・カーブ半値幅（FWHM）測定を行った。A1N薄膜の組成および結晶性の評価結果を表2

に示す。XPS分光法により測定したA1N薄膜の酸素含有量は、表2に示す通りであった。実施例1～14と同様の操作で分析評価を行ったのであるが、A1N薄膜の品質が悪い為に、XPS分析までに膜が酸化されて、酸素含有量が増加した可能性もある。

【0104】また、実施例1と同様にして、上記薄膜圧電共振子（FBAR）の電極端子15b、17b間のインピーダンス特性を測定すると共に、共振周波数 $f$ 、および反共振周波数 $f_r$ の測定値から、電気機械結合係数 $k_t^2$ および音響的品質係数 $Q$ を求めた。得られた薄膜圧電共振子の厚み振動の基本周波数、電気機械結合係数 $k_t^2$ 、および音響的品質係数 $Q$ を表3に示す。

【0105】〔比較例3〕本比較例では、以下のようにして、図3及び図4に示されている構造の薄膜圧電共振子を作製した。

【0106】即ち、絶縁体層13、下部電極15、上部電極17および圧電体薄膜16の材質、厚さが表1～表3に示されているようにされたこと以外は、実施例8と同様の工程を実行した。

【0107】実施例8と同様にして、得られたA1N薄膜（圧電体薄膜）の組成分析とX線回折測定を行った。A1N薄膜の組成および結晶性の評価結果を表2に示す。

【0108】また、実施例8と同様にして測定した、共振周波数 $f$ 、および反共振周波数 $f_r$ の測定値から、電気機械結合係数 $k_t^2$ および音響的品質係数 $Q$ を求めた。得られた薄膜圧電共振子の厚み振動の基本周波数、電気機械結合係数 $k_t^2$ 、および音響的品質係数 $Q$ を表3に示す。

【0109】〔比較例4〕本比較例では、以下のようにして、図1及び図2に示されている構造の薄膜圧電共振子を作製した。

【0110】即ち、絶縁体層13、下部電極15、上部電極17および圧電体薄膜16の材質、厚さが表1～表3に示されているようにされたこと以外は、実施例1と同様の工程を実行した。

【0111】実施例1と同様にして、得られたA1N薄膜（圧電体薄膜）の組成分析とX線回折測定を行った。A1N薄膜の組成および結晶性の評価結果を表2に示す。

【0112】また、実施例1と同様にして測定した、共振周波数 $f$ 、および反共振周波数 $f_r$ の測定値から、電気機械結合係数 $k_t^2$ および音響的品質係数 $Q$ を求めた。得られた薄膜圧電共振子の厚み振動の基本周波数、電気機械結合係数 $k_t^2$ 、および音響的品質係数 $Q$ を表3に示す。

【0113】

【表1】



下部電極、下部電極-圧電薄膜界面および上部電極を構成する金属層の材質、厚さおよび性状

	下部電極									下部電極- 圧電薄膜 間の界面層		上部電極							
	密着層		第2の金属層b			第1の金属層a			密着層			第4の金属層d			第3の金属層c				
	材質	厚さ (nm)	材質	厚さ (nm)	FWHM (deg)	材 質	厚さ (nm)	FWHM (deg)	材質	厚さ (nm)	材質	厚さ (nm)	材 質	厚 ざ (nm)	材 質	厚 ざ (nm)	材 質	厚 ざ (nm)	
実施例1	—	—	Au	60	2.3	Mo	150	2.4	—	—	—	—	Al	190	—	—	—	—	
実施例2	Ti	30	Pt	45	1.5	Mo	145	2.0	—	—	Ti	30	Pt	40	Mo	130	—	—	
実施例3	Ti	25	Au	50	1.3	Mo	140	1.4	—	—	—	—	—	—	Mo	195	—	—	
実施例4	Ti	25	Au	60	1.4	Mo	180	1.6	SiNx	9	Ni	25	Au	55	Mo	115	—	—	
実施例5	Ti	35	Au	45	1.3	Mo	135	1.3	Al	7	—	—	—	—	Mo	195	—	—	
実施例6	V	35	Au	40	1.7	Mo (TZM合金)	140	1.8	—	—	—	—	Au	35	Mo (TZM合金)	160	—	—	
実施例7	Cr	30	Au	45	2.0	Mo-Re 合金	150	2.1	—	—	Ti	30	Au	40	Mo-Re 合金	135	—	—	
実施例8	Ti	20	Al	55	2.5	Mo	135	2.6	—	—	—	—	Al	45	Mo	140	—	—	
実施例9	Ta	35	Ir	40	4.9	W	140	5.5	—	—	—	—	Al	195	—	—	—	—	
実施例10	Mo合金*	15	Pt	55	3.5	W-Mo 合金	150	4.4	—	—	Cr	20	Pt	35	W-Mo 合金	135	—	—	
実施例11	Ni	35	Pt	45	3.3	W-Re 合金	130	4.3	—	—	Nb	35	—	—	W-Re 合金	165	—	—	
実施例12	Hf	25	Ir	50	3.1	Nb	135	3.5	—	—	Ta	25	Ir	45	Nb	120	—	—	
実施例13	Zr	30	Au	45	3.4	W	150	3.6	—	—	Zr	30	Au	40	W	135	—	—	
実施例14	—	—	Pt	45	3.3	W-Cu-Ni 合金	140	4.2	—	—	—	—	—	—	W-Cu-Ni 合金	160	—	—	
比較例1	—	—	Ni	145	14.0	W	75	8.0	—	—	—	—	Ni	40	W	160	—	—	
比較例2	—	—	—	—	—	Mo	200	15.0	—	—	—	—	—	—	—	180	—	—	
比較例3	—	—	—	—	—	W	200	26.4	—	—	—	—	—	—	—	180	—	—	
比較例4	—	—	Au	220	2.2	—	—	—	—	—	—	—	Au	190	—	—	—	—	

a: 体心立方構造の金属、b: 面心立方構造の金属、c: 体心立方構造の金属、d: 面心立方構造の金属、\*: Mg-Al-Zn-Mn合金  
FWHM: X線回折におけるロッギング・カーブ半値幅

【0114】

\* \* 【表2】

AlN圧電薄膜の作製条件、組成およびX線回折測定結果

	AlN薄膜の形成条件			AlN薄膜の性状		
	成膜圧力 (Pa)	窒素濃度 (vol%)	基板温度 (°C)	XPS分光	X線回折	
				酸素濃度 (Atm %)	格子定数 c 軸長 (nm)	ロッギング・カーブ FWHM (deg)
実施例1	1.15	30	350	<0.5	0.4979	2.4
実施例2	1.00	35	300	<0.5	0.4981	2.2
実施例3	0.67	25	325	<0.5	0.4976	1.7
実施例4	0.82	50	305	<0.5	0.4991	2.0
実施例5	0.60	50	315	<0.5	0.4990	1.9
実施例6	0.75	35	340	<0.5	0.4981	2.1
実施例7	0.90	45	290	<0.5	0.4987	2.3
実施例8	1.08	25	275	<0.5	0.4976	2.5
実施例9	0.98	30	275	<0.5	0.4979	3.5
実施例10	0.80	50	285	<0.5	0.4990	3.2
実施例11	0.88	45	340	<0.5	0.4987	3.1
実施例12	0.74	40	305	<0.5	0.4984	2.8
実施例13	0.58	35	320	<0.5	0.4981	2.9
実施例14	0.65	30	290	<0.5	0.4979	3.1
比較例1	0.70	45	315	1.2	0.4987	5.3
比較例2	0.93	45	285	2.2	0.4988	10.7
比較例3	0.78	45	285	2.5	0.4988	12.4
比較例4	0.85	40	280	<0.5	0.4984	2.9

【0115】

【表3】

A1N圧電薄膜を用いて作製したFBARの構成と共振子としての特性、性能

	FBAR 構 造	絶 縁 膜		圧電薄膜	インピーダンス特性		電気機械 結合係数 $K_p^2$	音 響 的 品質係数 $Q$
		材質	厚さ ( $\mu\text{m}$ )	厚さ ( $\mu\text{m}$ )	共振周波数 (MHz)	反共振周波数 (MHz)	(%)	
実施例 1	図 1, 2	SiO <sub>2</sub>	0.20	0.98	1.93	1.98	5.97	922
実施例 2	図 1, 2	SiO <sub>2</sub>	0.30	1.10	1.95	2.00	6.12	1040
実施例 3	図 1, 2	—	—	1.50	2.28	2.35	6.50	1270
実施例 4	図 1, 2	SiN <sub>x</sub>	0.25	1.30	2.06	2.11	6.27	1126
実施例 5	図 1, 2	SiN <sub>x</sub>	0.40	1.40	1.98	2.03	6.35	1178
実施例 6	図 3, 4	SiN <sub>x</sub>	0.35	1.15	2.16	2.22	6.19	1130
実施例 7	図 3, 4	SiN <sub>x</sub>	0.37	1.45	1.86	1.91	6.04	1025
実施例 8	図 3, 4	SiO <sub>2</sub>	0.43	1.05	1.80	1.84	5.88	926
実施例 9	図 1, 2	SiO <sub>2</sub>	0.30	0.99	1.87	1.91	5.05	623
実施例 10	図 1, 2	SiO <sub>2</sub>	0.20	1.30	2.07	2.12	5.23	707
実施例 11	図 1, 2	SiN <sub>x</sub>	0.25	1.20	2.32	2.37	5.30	740
実施例 12	図 1, 2	SiN <sub>x</sub>	0.30	1.35	1.98	2.02	5.35	712
実施例 13	図 3, 4	—	—	1.40	2.35	2.41	5.53	781
実施例 14	図 3, 4	SiO <sub>2</sub>	0.28	1.28	2.02	2.06	5.30	779
比較例 1	図 1, 2	SiO <sub>2</sub>	0.38	1.09	1.92	1.95	3.48	390
比較例 2	図 1, 2	SiO <sub>2</sub>	0.35	1.05	1.90	1.92	1.95	235
比較例 3	図 3, 4	SiO <sub>2</sub>	0.35	1.10	1.86	1.88	1.57	246
比較例 4	図 1, 2	SiO <sub>2</sub>	0.40	0.78	1.83	1.86	3.91	407

## 【0116】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の窒化アルミニウム薄膜—金属電極積層体では、高配向性の薄膜が容易に得られる面心立方構造の金属の薄膜と高弾性の体心立方構造の金属の薄膜とを積層することにより、高配向性かつ高弾性の積層金属電極膜を形成し、この積層金属電極膜上に窒化アルミニウム薄膜を成長させているので、(0002)回折ピークのロッキング・カーブが急峻なピークで半値幅(FWHM)が小さく、従って高配向性、高結晶性のc軸配向の窒化アルミニウム薄膜が得られる。

【0117】また、本発明の薄膜圧電共振子は、以上のような窒化アルミニウム薄膜—金属電極積層体により高弾性かつ高配向性の金属薄膜より成る一方の金属電極と高配向性、高結晶性のc軸配向窒化アルミニウム圧電薄膜との組合せを構成し、その上に他方の金属電極を形成することにより、電気機械結合係数、音響的品质係数(Q値)などの性能が著しく向上する。その結果、従来に無い高特性のFBARまたはSBARを作製でき、これを用いて、高周波域で損失が少なく、利得、帯域特性の良好な圧電薄膜フィルタ、薄膜VCO、送受信分波器などの薄膜圧電素子を提供することが可能となる。

## 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による薄膜圧電共振子の実施形態を示す模式的平面図である。

【図2】図1のX-X断面図である。

【図3】本発明による薄膜圧電共振子の実施形態を示す模式的平面図である。

【図4】図3のX-X断面図である。

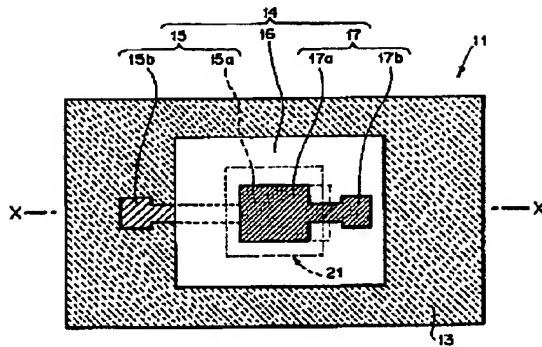
【図5】本発明による薄膜圧電共振子の実施形態を示す模式的平面図である。

【図6】図5のX-X断面図である。

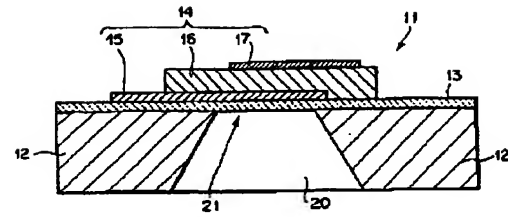
## 【符号の説明】

- 11 薄膜圧電共振子
- 12 単結晶または多結晶からなる基板
- 13 下地絶縁膜
- 14 圧電積層構造体
- 15 下部電極
- 15a 下部電極主体部
- 15b 下部電極端子部
- 16 圧電体薄膜
- 16-1 第1の圧電体薄膜
- 16-2 第2の圧電体薄膜
- 17 上部電極
- 17' 内部電極
- 17a 上部電極主体部
- 17b 上部電極端子部
- 17A 上部電極の第1電極部
- 17Aa 第1電極部の主体部
- 17Ab 第1電極部の端子部
- 17B 上部電極の第2電極部
- 17Ba 第2電極部の主体部
- 17Bb 第2電極部の端子部
- 18 上部電極
- 20 エッチングによって基板に形成したピアホール
- 21 振動部

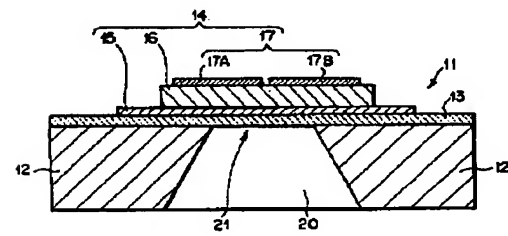
【図1】



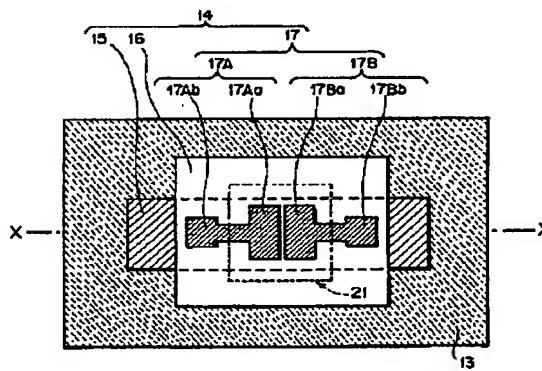
【図2】



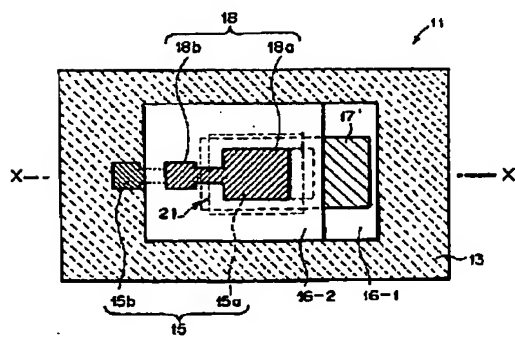
【図4】



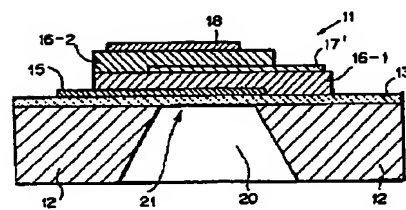
【図3】



【図5】



【図6】



フロントページの続き

(72)発明者 橋本 智仙  
 山口県宇部市大字小串1978番地の5 宇部  
 興産株式会社宇部研究所内

Fターム(参考) 5J108 AA07 EE03 FF03 FF05 KK01  
 KK02

BEST AVAILABLE COPY